

Renkl, Alexander

Explorative Analysen zur effektiven Nutzung von instruktionalen Erklärungen beim Lernen aus Lösungsbeispielen

Unterrichtswissenschaft 29 (2001) 1, S. 41-63



Quellenangabe/ Reference:

Renkl, Alexander: Explorative Analysen zur effektiven Nutzung von instruktionalen Erklärungen beim Lernen aus Lösungsbeispielen - In: Unterrichtswissenschaft 29 (2001) 1, S. 41-63 - URN: urn:nbn:de:0111-opus-76778 - DOI: 10.25656/01:7677

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0111-opus-76778>

<https://doi.org/10.25656/01:7677>

in Kooperation mit / in cooperation with:

BELTZ JUVENTA

<http://www.juventa.de>

Nutzungsbedingungen

Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Die Nutzung stellt keine Übertragung des Eigentumsrechts an diesem Dokument dar und gilt vorbehaltlich der folgenden Einschränkungen: Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Terms of use

We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document.

This document is solely intended for your personal, non-commercial use. Use of this document does not include any transfer of property rights and it is conditional to the following limitations: All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.

Kontakt / Contact:

peDOCS
DIPF | Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation
Informationszentrum (IZ) Bildung
E-Mail: pedocs@dipf.de
Internet: www.pedocs.de

Digitalisiert

Mitglied der


Leibniz-Gemeinschaft

Unterrichtswissenschaft

Zeitschrift für Lernforschung
29. Jahrgang / 2001 / Heft 1

Thema: Lernen aus Lösungsbeispielen

Verantwortlicher Herausgeber:
Alexander Renkl

Alexander Renkl: Lernen aus Lösungsbeispielen: Einführung	2
Angela Kroß, Gunter Lind: Einfluss von Vorwissen auf Intensität und Qualität des Selbsterklärens beim Lernen mit biologischen Beispielaufgaben	5
Robin Stark, Hans Gruber, Heinz Mandl, Ludwig Hinkofer: Wege zur Optimierung eines beispielbasierten Instruktionsansatzes: Der Einfluss multipler Perspektiven und instruktionaler Erklärungen auf den Erwerb von Handlungskompetenz	26
Alexander Renkl: Explorative Analysen zur effektiven Nutzung von instruktionalen Erklärungen beim Lernen mit Lösungsbeispielen	41
Thomas J. Schult, Peter Reimann: Automatisierte Hilfe für das Lernen aus Lösungsbeispielen	64
Michael Henninger: Auf dem Highway ist die Hölle los oder Die instruktionale Unter- stützung bei Lösungsbeispielen auf der Überholspur (Kommentar)	82
Wolfgang Schnotz: Lernen aus Beispielen: Ein handlungstheoretischer Rahmen (Kommentar)	88

Alexander Renkl

Explorative Analysen zur effektiven Nutzung von instruktionalen Erklärungen beim Lernen aus Lösungsbeispielen^{*)}

Explorative Analyses on the Effective Use of Instructional Explanations during Learning from Worked-Out Examples

Wie stark Lernende von einem Studium von Lösungsbeispielen profitieren hängt insbesondere davon ab, inwieweit sie das Rationale der jeweiligen Beispiellösungen verstehen. Sowohl Selbsterklärungen als auch instruktionale Erklärungen können dabei zum Verständnis beitragen. Renkl (2000) entwickelte ein Modell zur produktiven Integration von Selbsterklärungen und instruktionalen Erklärungen, welches dem Design einer beispielbasierten Lernumgebung zur Wahrscheinlichkeitsrechnung zugrunde lag. Die Lernenden erklärten sich die Lösungsbeispiele dabei selbst. Bei Bedarf konnten sie instruktionale Erklärungen aufrufen. Dabei wurde zunächst eine minimalistische Erklärung (zugrunde liegendes wahrscheinlichkeitstheoretisches Prinzip) gegeben. Falls den Lernenden dies nicht genügte, konnten sie eine ausführlichere Erklärung abrufen (Prinzip + Bezug desselben zum aktuellen Lösungsbeispiel). Diese Art der Erklärungen erweis sich als lernförderlich, jedoch in begrenztem Ausmaß (Renkl, 2000). Ziel dieser Arbeit war es, mögliche Defizite bei der Nutzung der instruktionalen Erklärungen durch die Lernenden zu identifizieren, um daraus instruktionale Maßnahmen zur weiteren Steigerung des Lernerfolgs abzuleiten. Aus einer Re-Analyse der Daten von Renkl (2000) ergaben sich Hinweise, dass die Belastung des Arbeitsspeichers beim Verarbeiten der instruktionalen Erklärungen sehr hoch war und dass die minimalistischen Erklärungen speziell im Vergleich zu den ausführlicheren Erklärungen nur eingeschränkt hilfreich waren. Als Konsequenz daraus sollten instruktionale Maßnahmen getroffen werden, die (1) die kognitive Belastung beim Verarbeiten der instruktionalen Erklärungen reduzieren und die (2) bei den minimalistischen Erklärungen das Herstellen von Bezügen zwischen Elementen des Prinzips und des aktuellen Lösungsbeispiels erleichtern.

The extent to which learners profit from studying worked-out examples depends on how well they understand the rationale of the corresponding solution procedures. Self-explanations as well as instructional explanations can contribute to such an understanding. Renkl (2000) developed a model for the productive integration of self-explanations and instructional explanations. An example-based learning environment on probability calculation was designed according to this model. Herein, learners explained worked-out examples to themselves. They could demand an instructional explanation if necessary. In a first step, a minimalist explanation (of the underlying probability principle) was displayed. When the learners wanted more help, they could request a more extensive explanation (principle + its relation to the actual worked-out example). This type of explanations proved to be effective, but merely to a moderate

^{*)} Diese Arbeit wurde durch die DFG (Re 1040/4-1) unterstützt.

extent (Renkl, 2000). The goal of this study was to identify deficits in the use of the instructional explanations in order to derive instructional means for further improving learning. Re-analyses of Renkl's (2000) data provided hints that cognitive load on working memory was very high when processing the instructional explanations and that the minimalist explanations were relatively ineffective in comparison to the more extensive explanations. As a consequence, instructional means should be employed that (1) reduce cognitive load during the processing of the instructional explanations and that (2) make it easier to relate the minimalist explanations to the example at hand.

Lösungsbeispiele setzen sich aus einer Problemstellung, Lösungsschritten und der endgültigen Lösung selbst zusammen. Wie inzwischen eine Vielzahl von Studien belegt hat, sind insbesondere beim anfänglichen Erwerb kognitiver Fertigkeiten in Domänen, wie etwa der Mathematik oder Physik, Lösungsbeispiele sehr bedeutsam (Reimann, 1997). Sie werden von Lernenden gegenüber anderen Informationsquellen bevorzugt (z.B. LeFevre & Dixon, 1986), und dies zurecht, da das Lernen aus derartigen Beispielen typischerweise sehr effektiv ist (vgl. Sweller, van Merriënboer & Paas, 1998).

Wie viel Lernende aber im konkreten Fall vom Beispielstudium profitieren, hängt insbesondere davon ab, inwieweit sie das Rationale der jeweiligen Beispiellösungen verstehen. Sowohl Selbsterklärungen als auch instruktionale Erklärungen können dabei zum Verständnis beitragen. Renkl (2000) entwickelte ein Modell zur produktiven Integration von Selbsterklärungen und instruktionalem Erklärungen, welches dem Design einer beispielbasierten Lernumgebung zur Wahrscheinlichkeitsrechnung zugrunde lag. Diese Lernumgebung wurde einer ersten empirischen Überprüfung unterzogen. Die Lernenden erklärten sich die Lösungsbeispiele dabei selbst. Bei Bedarf konnten sie instruktionale Erklärungen aufrufen. Diese Art der Erklärungen erweist sich als lernförderlich, jedoch in begrenztem Ausmaß (Renkl, 2000). Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Daten von Renkl (2000) einer Re-Analyse zu unterziehen, um mögliche Defizite bei der Nutzung der instruktionalem Erklärungen durch die Lernenden zu identifizieren. Daraus sollen wiederum instruktionale Maßnahmen zur weiteren Steigerung des Lernerfolgs abgeleitet werden.

Im folgenden wird zunächst näher auf die Bedeutung von Selbsterklärungen beim Lernen aus Lösungsbeispielen eingegangen, und es wird das bereits erwähnte Modell zur Integration von Selbsterklärungen und instruktionalem Erklärungen vorgestellt. Sodann werden die Hauptbefunde des zu re-analysierenden Experiments dargelegt. Vor diesem Hintergrund werden schließlich Forschungsfragen formuliert, deren Beantwortung die Grundlage dafür bietet, instruktionale Maßnahmen zur weiteren Steigerung des Lernerfolgs zu entwickeln.

1. Die Bedeutung von Selbsterklärungen

Insbesondere Lernende, die sich die einzelnen Lösungsschritte aktiv selbst erklären, profitieren von einem Beispielstudium (Selbsterklärungseffekt;

Chi, Bassok, Lewis, Reimann & Glaser, 1989). In korrelativen Studien wurde gefunden, dass speziell diejenigen aus Lösungsbeispielen Nutzen zogen, die folgende Selbsterklärungsaktivitäten zeigten (z.B. Chi et al., 1989; Renkl, 1997a): (1) Prinzipienbasierte Erklärungen (Zuweisen von Bedeutung zu Operatoren, indem das dahinter liegende Domänenprinzip thematisiert wird); (2) Explikationen von Ziel-Operator-Kombinationen (Zuweisung von Bedeutung zu Operatoren, indem das (Zwischen-) Ziel thematisiert wird, das durch die Anwendung eines Operators jeweils erreicht wird); (3) Antizipierendes Schließen (der nächste Lösungsschritt eines Beispiels wird nicht einfach abgelesen, sondern es wird versucht zu antizipieren, wie er aussieht, und diese Vorhersage wird dann mit dem tatsächlichen Lösungsschritt verglichen). Renkl (1997a) zeigte, dass die meisten Lernenden jedoch keine elaborierten Selbsterklärungen vornehmen, sie diesbezüglich also Defizite aufweisen.

Um erstens einen experimentellen Beleg für die Bedeutung dieser Arten von Selbsterklärungen zu erbringen und um zweitens Fördermaßnahmen zu erproben, führten wir zwei Experimente durch: (1) Renkl, Stark, Gruber und Mandl (1998) trainierten Bedeutungszuweisungen zu Operatoren via *Explikationen von Ziel-Operator-Kombinationen* und *prinzipienbasierten Erklärungen*. Diese Maßnahme erhöhte den Lernerfolg insbesondere von Lernenden mit geringem Vorwissen. (2) In seinem Dissertationsprojekt baute Stark (1999) Lücken in Lösungsbeispiele ein, so dass *antizipierendes Schließen* gleichsam erzwungen wurde. Als erwünschter Nebeneffekt erhielten die Lernenden zudem Rückmeldung über ihren Kenntnisstand, da nach der Antizipation der tatsächliche Lösungsschritt präsentiert wurde, und damit die Lernenden sehen konnten, ob ihre Antizipation korrekt war (darauf bezogene Erklärungen wurden hier nicht gegeben). Auch diese Maßnahme erwies sich als erfolgreich, die Lernenden profitierten davon unabhängig von ihrem Vorwissensniveau.

Obgleich in beiden Studien nicht nur der Lernerfolg, sondern insbesondere die Qualität der Selbsterklärungen in praktisch signifikantem Ausmaß verbessert werden konnte, zeigten sich auch unter den jeweils günstigen Lernbedingungen bei einer qualitativ orientierten Analyse der Selbsterklärungen doch weiterhin substantielle Defizite. Beispielsweise gab es falsche Selbsterklärungen, Verstehensprobleme, die die Lernenden alleine nicht auflösen konnten, und Verständnisillusionen (fälschliches Gefühl, etwas verstanden zu haben). Diese Defizite konnten ohne externe Unterstützung der Lernenden - diese waren ganz auf ihre Selbsterklärungsaktivität angewiesen - kaum beseitigt werden. Insbesondere die Probleme der falschen Selbsterklärungen und der „unauflösbaren“ Verstehensschwierigkeiten legten es nahe, als unterstützende Maßnahmen instruktionale Erklärungen einzusetzen. Dies in produktiver Weise umzusetzen, ist aber insofern eine keineswegs triviale Aufgabe, als etliche Studien zeigten, dass solche Erklärungen vielfach wenig hilfreich sind (z.B. Brown & Kane, 1988; Chi, 1996; Stark, Gruber, Mandl & Hinkofer, dieses Heft).

2. SEASITE-Model: Self-Explanation Activity Supported by Instructional Explanations

Die Notwendigkeit der Formulierung eines Modell zur effektiven Gestaltung von instruktionalen Erklärungen leitet sich aus der Schwierigkeit ab, den Lernenden wirksame instruktionale Erklärungen beim Lernen aus Lösungsbeispielen zu geben. Um zu einem derartigen Modell zu gelangen, gilt es zunächst die Vor- bzw. Nachteile von instruktionalen Erklärungen insbesondere im Vergleich zu Selbsterklärungen zu analysieren (Tab. 1; vgl. auch Renkl, 2000). Insofern werden diese zunächst diskutiert, bevor das eigentliche Modell vorgestellt wird.

Tabelle 1:

Vor- und Nachteile von Selbsterklärungen und instruktionalen Erklärungen (vorteilhaftere Ausprägungen jeweils in Großbuchstaben)

	Selbsterklärungen	Instruktionale Erklärungen
Vorwissensangepasstheit	GEGEREN	Unsicher
Timing	VORTEILHAFT	Unsicher
Generierungseffekt	GEGEREN	Fehlt
Korrektheit	Unsicher	GEGEREN
Auflösen von Verständnisschwierigkeiten	Schwierig	MITTEL
Verständnisüberwachung	Schwierig	MITTEL

Nachteile instruktionaler Erklärungen, die dafür verantwortlich sein dürften, dass sie beim Lernen aus Lösungsbeispielen im Vergleich zu (guten) Selbsterklärungen typischerweise nur wenig Nutzen erbringen, sind die folgenden: (1) *Vorwissensangepasstheit*. Instruktionale Erklärungen sind sehr oft nicht so vorwissensangepasst, dass sie von den Lernenden (vollständig) verstanden werden können. Vielfach sind sie aber auch zu redundant, d.h. zu lange und beinhalten Aspekte, die den Lernenden schon bekannt sind; in diesem Fall tragen sie ebenfalls wenig zum Lernen bei. Selbsterklärungen hingegen werden von den Lernenden aus ihrer Wissensbasis heraus konstruiert, um diese Wissensbasis wiederum zu erweitern. Sie sind damit vorwissensangepasst. (2) *Timing*. Befunde aus der Lehr-Lern-Forschung legen nahe, dass Erklärungen von anderen Personen nur dann wirklich förderlich sind, wenn sie in eine laufende Aktivität, etwa Problemlösen oder Nachdenken über etwas, „eingebaut“ werden (z.B. Webb, 1992). Selbsterklärungen sind intrinsischer Bestandteil der gerade ablaufenden Lernaktivitäten. Für instruktionale Erklärungen stellt sich hingegen das Problem eines angepassten Timings, wenn sie Nutzen erbringen sollen. (3) *Generierungseffekt*. In der Gedächtnispsychologie wurde gezeigt, dass selbstgenerierte Information besser behalten wird als dargebotene. Insofern sollten Selbsterklärungen besser erinnert werden als instruktionale Erklärungen.

Diese Punkte lassen *Selbsterklärungen* als sehr günstig erscheinen. Andererseits haben auch diese gegenüber instruktionalen Erklärungen wiederum substantielle *Nachteile*: (a) *Korrektheit*. Selbsterklärungen sind oft nur teilweise korrekt oder gar falsch. Dies kann zum Erwerb falschen Wissens beim Beispielstudium führen, welches weiteren Wissenserwerb substantiell behindern kann (vgl. Conati, 1999). Instruktionale Erklärungen hingegen sind in aller Regel korrekt. (b) *Auflösen von Verständnisschwierigkeiten*. Wenn Lernende mit neuen Lerninhalten konfrontiert werden, haben sie oft Verständnisschwierigkeiten, die sie auf sich alleine gestellt nicht auflösen können. In diesem Fall ist externe Hilfe, z.B. in Form von instruktionalen Erklärungen, notwendig. (c) *Verständnisüberwachung*. Lernende haben oft das metakognitive Problem, dass sie Verstehensillusionen unterliegen, wenn sie sich selbst das Rationale von Beispiellösungen erklären. Dies hat zur Konsequenz, dass sie nicht nach einem verbesserten Verständnis streben, obgleich dies nötig wäre. Instruktionale Erklärungen können, zumindest in einigen Fällen, den Lernenden aufzeigen, dass sie bislang etwas noch nicht richtig oder hinreichend verstanden haben.

Vor dem Hintergrund der jeweiligen Vor- bzw. Nachteile von Selbsterklärungen und instruktionalen Erklärungen wäre es günstig, ein theoretisches Modell zu haben, auf dessen Grundlagen die beiden Erklärungsarten so kombiniert werden könnten, dass die jeweiligen Vorteile in den Vordergrund treten. Ein solches Modell ist SEASITE. Es werden die beiden folgenden Postulate für die generelle Gestaltung einer lösungsbeispielbasierten Lernumgebung aufgestellt:

(1) *So viel Selbsterklärungen wie möglich, so viel instruktionale Erklärungen wie nötig*. Instruktionale Erklärungen sollten nur dann dargeboten werden, wenn die Lernenden Verständnisprobleme haben oder sie ihrer eigenen Erklärungen nicht sicher sind. Wenn die Lernenden in erster Linie Selbsterklärungen vornehmen, hat dies folgende Vorteile: (a) Selbsterklärungen werden aus der eigenen Wissensbasis heraus konstruiert und sind damit vorwissensadaptiert; (b) Selbsterklärungen sind notwendigerweise in die ablaufenden kognitiven Aktivitäten integriert; (c) Selbsterklärungen sind, wie der Name schon besagt, selbstgeneriert (siehe oben). Darüber hinaus ist es wünschenswert, wenn die Lernenden lernen, aus Lösungsbeispielen zu lernen, also die Funktion der Erklärungen möglichst weitgehend selbst zu übernehmen.

(2) *Rückmeldung*. Das Lernarrangement sollte die Verständnisillusionen der Lernenden reduzieren. Zu diesem Zweck sollte Rückmeldung vorhanden sein. Dies kann u.a. durch die Verwendung von unvollständigen Lösungsbeispielen, wie sie in der Studie von Stark (1999) eingesetzt wurden, geschehen. Die Lernenden können durch den Vergleich der von ihnen antizipierten und der tatsächlichen Lösungsschritte sehen, inwieweit ihre Antizipationen richtig sind. Sie erhalten somit Aufschluss über ihren Wissensstand. Zudem können instruktionale Erklärungen aufzeigen, dass etwas bislang nicht korrekt verstanden wurde.

Neben diesen beiden Kriterien zur generellen Gestaltung einer lösungsbeispielbasierten Lernumgebung werden mehrere Prinzipien zur Gestaltung der instruktionalen Erklärungen postuliert:

(1) *Lernerabruf*. Obgleich ein selbstgesteuerter Abruf von instruktionalen Erklärungen durch Lernende den Nachteil haben kann, dass diese Erklärungen seltener genutzt werden, als dies notwendig wäre, wird hier dennoch ein Lernerabruf favorisiert. Dieser soll sicherstellen, dass die instruktionalen Erklärungen ein adäquates Timing aufweisen und tatsächlich in die ablaufenden kognitiven Aktivitäten der Lernenden integriert werden. Zudem kann dies insofern zu einer Vorwissensangepasstheit der Darbietung der instruktionalen Erklärungen beitragen, als Lernende, die aufgrund geringen Vorwissens mehr Schwierigkeiten im Lernprozess erfahren, die Erklärungen vermehrt nutzen - zumindest wenn sie sich ihrer Verstehensprobleme bewusst sind. Den Lernenden, die aufgrund hohen Vorwissens gut zurecht kommen, werden keine „unnötigen“ Erklärungen dargeboten. Möglicherweise ziehen Lernende mit unterschiedlichem Vorwissensniveau auch unterschiedlichen Nutzen aus den selbstgesteuert abzurufenden Erklärungen. Zu implementieren ist der Lernerabruf von instruktionalen Erklärungen am besten über den Einsatz eines computerbasierten Lernprogramms.

(2) *Minimalismus*. Erklärungen, die in Hilfefunktionen von Computerprogrammen integriert sind, werden von Lernenden vielfach mehr oder weniger ignoriert (Mandl, Gruber & Renkl, 1992; Hofer, Niegemann, Eckert & Rinn, 1996). Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass sie zu stark vom gerade Fokussierten ablenken, da sie zu lang, zu redundant und zu aufwendig zu verarbeiten sind. Auch Conati und VanLehn (1999) fanden bei einer Untersuchung ihrer computerbasierten Lernumgebung, dass „Text-Bausteine“, aus denen Selbsterklärungen konstruiert werden sollten, ignoriert wurden, wenn sie zu lang waren. Um also dem möglichen Problem einer mangelnden Nutzung der instruktionalen Erklärungen entgegenzuwirken, ist es sinnvoll, minimalistische Erklärungen zu entwerfen (vgl. auch Anderson, Corbett, Koe-dinger & Pelletier, 1995; Carroll, 1990).

(3) *Progressive Hilfe*. Dieses Prinzip hängt eng mit dem vorstehenden zusammen. Minimalistische Erklärungen können den Nachteil haben, zu knapp zu sein. Etwa könnten Lernende mit wenig Vorwissen sie nicht verstehen, womit sie für diese Lernenden auch nicht vorwissensangepasst wären. Aus diesem Grund sollen zusätzlich zu den minimalistischen Erklärungen ausführlichere Erklärungen abgerufen werden können, wenn Vorwissensdefizite der Lernenden dies nötig machen. Die ausführlichen Erläuterungen sind aber immer noch möglichst „schlank“ zu gestalten. Das Prinzip der progressiven Hilfe soll vor allem zur Vorwissensanpassung beitragen.

(4) *Prinzipienbasierte Erklärungen*. Prinzipienbasierte Selbsterklärungen haben sich empirisch als für den Lernerfolg bedeutsam herausgestellt (z.B. Chi et al., 1989; Renkl, 1997a; Renkl et al., 1998). Sie fördern ein Verständnis des Stoffes im Sinne des Erfassens der zugrunde liegenden Prinzipien, was als Grundlage für den Transfer erworbener Kenntnisse gesehen werden

kann (z.B. Renkl & Helmke, 1992; Renkl & Stern, 1994). Ein derartiges Verständnis ist vor allem dann von Relevanz, wenn nach einer Lernphase nicht nur Aufgaben bewältigt werden sollen, die mit demselben Lösungsrationale lösbar sind (d.h. lediglich Unterschiede in Oberflächenmerkmalen, wie Gegenständen, Zahlen etc.; naher Transfer), sondern auch Aufgaben, in denen die Lösungsprozedur modifiziert werden muss, weil die Prinzipien in anderer Kombination anzuwenden sind (hier als *weiter Transfer* definiert). Um also insbesondere diesen weiten Transfer zu fördern, soll der inhaltliche Fokus der instruktionalen Erklärungen auf den zugrunde liegenden Prinzipien liegen.

Das SEASITE-Modell wurde in einer computerbasierten Lernumgebung umgesetzt, in der anhand von Lösungsbeispielen aus der Domäne der Wahrscheinlichkeitsrechnung gelernt wurde. Dabei waren Lücken in die Beispiele integriert (siehe Punkt *Rückmeldung*).

3. Datenbasis: Ein Experiment zu SEASITE

In dem hier zu re-analysierenden Experiment wurde überprüft, ob ein Einsatz von instruktionalen Erklärungen, der entsprechend dem SEASITE-Modell gestaltet wurde, im Vergleich zum Lernen ohne derartige Erklärungen positive Effekte zeigt. Es wurden die Auswirkungen der Erklärungen auf Lerneffekte und Lernprozesse untersucht und es wurde überprüft, inwieweit Lernende mit unterschiedlichem Vorwissensniveau in unterschiedlichem Ausmaß von den instruktionalen Erklärungen profitierten (*Aptitude-Treatment*-Interaktion, kurz: ATI-Effekt). In einem ersten Schritt wurden die folgenden spezifischen Forschungsfragen empirisch beantwortet (siehe auch Renkl, 2000): (1) In welchem Ausmaß nutzen Lernende die instruktionalen Erklärungen? (2) Hängt das Ausmaß der Nutzung vom Vorwissensniveau ab? (3) Fördert das Bereitstellen der instruktionalen Erklärungen den Lernerfolg und hängt deren Effektivität von der geforderten Transferdistanz ab? (4) Profitieren speziell Lernende mit niedrigem Vorwissen von den instruktionalen Erklärungen?

Um diese Fragen zu beantworten, wurde eine Experimentalgruppe (n=28), die aus Beispielen mit Lücken (Stark, 1999) lernte und dabei instruktionale Erklärungen abrufen konnte, mit einer Gruppe (n=20) verglichen, der keine instruktionalen Erklärungen zur Verfügung standen. Es wurden also 48 Personen zufällig auf die Gruppen verteilt. Da einige Auswertungen (Nutzung der instruktionalen Erklärungen) nur die Experimentalgruppe betrafen, wurden dieser etwas mehr Personen zugewiesen.

Die Abbildungen 1 bis 3 zeigen, wie das SEASITE-Modell implementiert wurde. Sie zeigen erstens einen Lösungsschritt, bei dem die Lernenden zu antizipieren hatten (Abb. 1), zweitens eine minimalistische Erklärung, die das relevante wahrscheinlichkeitstheoretische Prinzip beinhaltete (Abb. 2) und drittens die zur Verfügung stehende „ausführlichere“ Erklärung, die zeigt, wie das Prinzip hier anzuwenden ist (Abb. 3).

Abbildung 1:
Exemplarische Seite eines Lösungsbeispiels aus dem Lernprogramm.

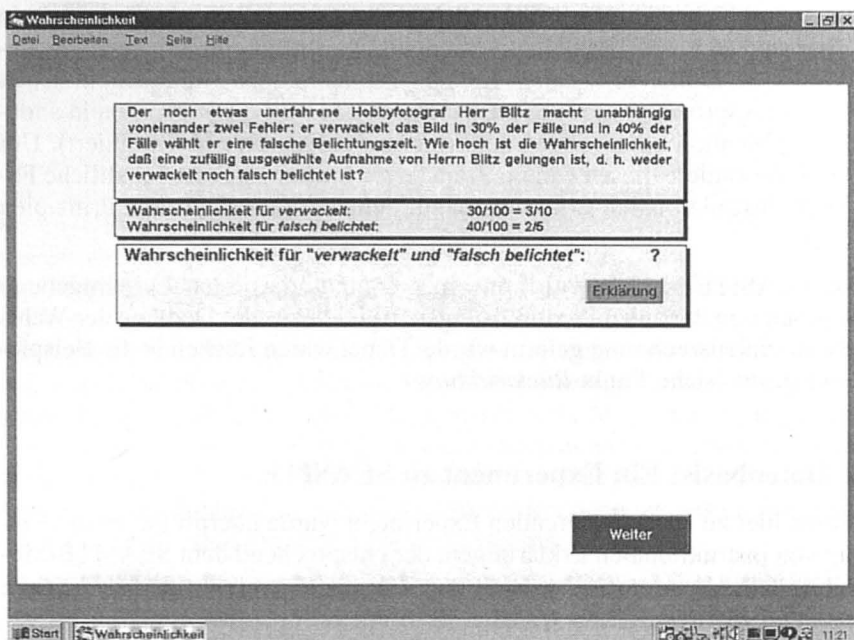


Abbildung 2:
Exemplarische minimalistische Erklärung (Bezug zu Abb. 1).

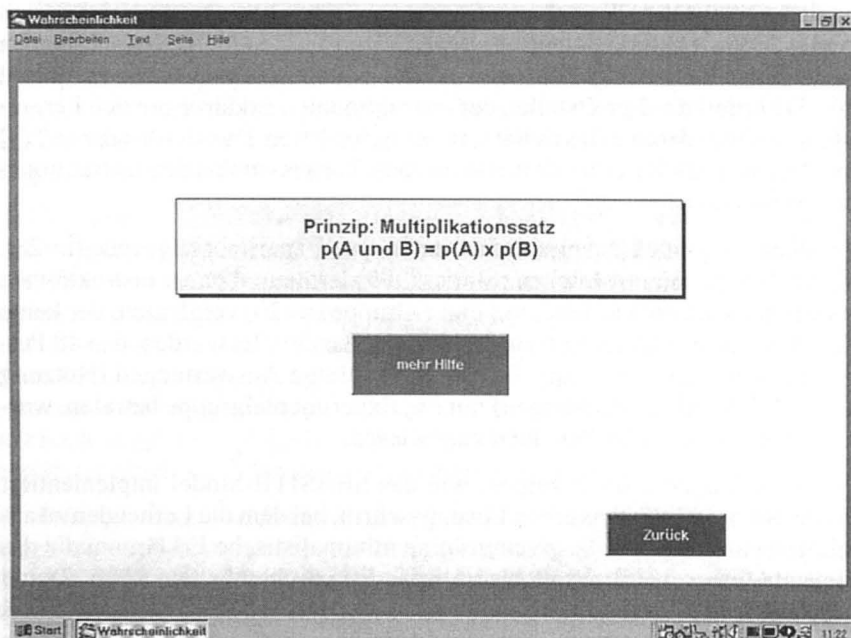
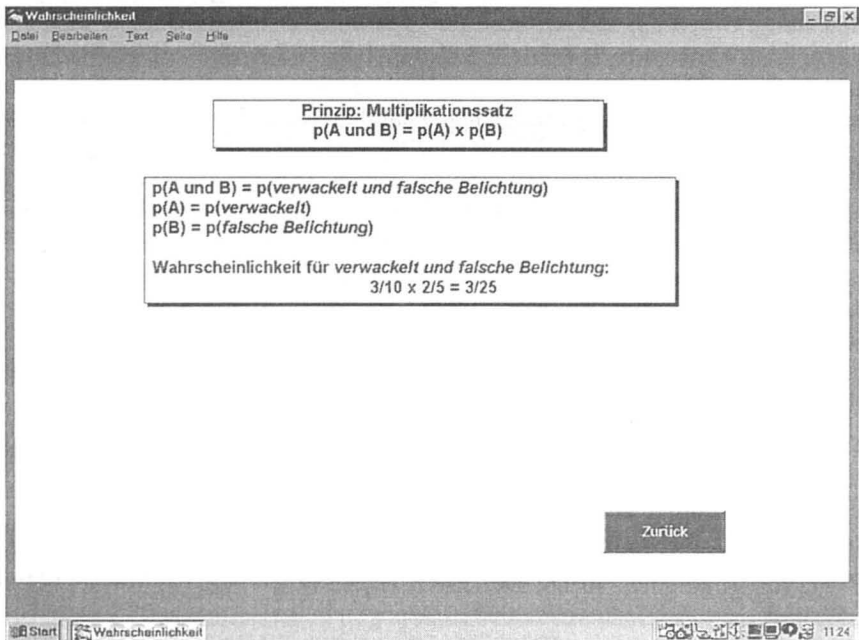


Abbildung 3:
Exemplarische ausführlichere Erklärung (Bezug zu Abb. 2 und 3).



In welchem Ausmaß nutzen Lernende die instruktionalen Erklärungen? Die instruktionalen Erklärungen wurden im Durchschnitt in etwa siebenmal während der 45minütigen Lernphase aufgerufen. Es machten jedoch nicht alle von dieser Möglichkeit (substantiellen) Gebrauch. Von den 28 Personen, denen instruktionale Erklärungen zur Verfügung standen, griffen 3 Personen nie auf die Erklärungen zurück und 4 Personen nur ein- oder zweimal. 8 Lernende riefen drei bis fünf Erklärungen auf. Lediglich 13 Lernende griffen mehr als sechsmal und damit doch relativ häufig auf die Erklärungen zurück. In Minuten ausgedrückt ergab sich eine durchschnittliche Nutzungszeit von knapp 2.5 Minuten (bei 45minütiger Lernzeit). In 38% der Fälle, in denen eine erste minimalistische Erklärung aufgerufen wurde, ließen sich die Lernenden auch die ausführlichere Erklärung zeigen. Von den insgesamt rund 2.5 Minuten Nutzungszeit entfielen knapp 1.5 Minuten auf die ausführlicheren Erklärungen.

Hängt das Ausmaß der Nutzung vom Vorwissensniveau ab? Die Nutzungshäufigkeit instruktionaler Erklärungen nahm mit zunehmendem Vorwissen ab (Korrelation zwischen Vorwissen und Häufigkeit der Nutzung insgesamt: $r = -.52$; $p < .05$; Häufigkeit der Nutzung der ausführlicheren Erklärungen: $r = -.44$; $p < .05$). D.h. sie wurden von Lernenden mit geringerem Vorwissen häufiger genutzt. Damit ergab sich auch ein negativer Zusammenhang zwischen der Nutzungsdauer der instruktionalen Erklärungen und dem Vorwis-

sen (Korrelation zwischen Vorwissen und Zeit für Erklärungen insgesamt: $r = -.41$; $p < .05$; Zeit für ausführlichere Erklärungen: $r = -.31$; $p < .10$).

Fördert das Bereitstellen der instruktionalen Erklärungen den Lernerfolg und hängt deren Effektivität von der geforderten Transferdistanz ab? Die Lernenden ohne instruktionale Erklärungen erreichten bei einem Nachtest, der Aufgaben des nahen Transfers (identische zugrunde liegende Struktur - andere Oberfläche, d.h. Zahlen, Gegenstände etc.) und des weiten Transfers (auch andere Struktur) enthielt, rund 43% der möglichen Punkte, während die Lernenden mit Erklärungen auf 54% kamen. Dieser Effekt war statistisch signifikant und von mittlerer praktischer Signifikanz (Effektstärke: 0.50). Separate Analysen für Leistungen des nahen und weiten Transfers ergaben einen statistisch bedeutsamen Unterschied beim weiten Transfer (Effektgröße: 0.57). Beim nahen Transfer konnte kein Effekt abgesichert werden; dies war nicht auf einen Deckeneffekt zurückzuführen, da selbst die deskriptiv erfolgreichere Gruppe mit instruktionalen Erklärungen nur rund 64% der möglichen Punkte erreichte.

Profitieren speziell Lernende mit niedrigem Vorwissen von den instruktionalen Erklärungen? Es konnte keine differentielle Wirksamkeit der instruktionalen Erklärungen in Abhängigkeit vom Vorwissen gefunden werden. Es trat also kein ATI-Effekt auf.

Zwei Punkte sollen an dieser Stelle herausgestellt werden. (1) Vor dem Hintergrund, dass sich instruktionale Erklärungen beim Lernen aus Lösungsbeispielen bislang als wenig effektiv erwiesen haben, ist der bedeutsame Effekt der SEASITE-Erklärungen als Erfolg zu werten. Das SEASITE-Modell wurde in seinem generellen Rationale also bestätigt. Inwieweit jedoch einzelne Prinzipien des Modells gültig sind, muss noch untersucht werden. (2) Ein weiterer Punkt bezieht sich auf die Nutzung der instruktionalen Erklärungen. Da die Lernenden mit instruktionalen Erklärungen nicht einmal 2/3 der möglichen Punkte bei Aufgaben des nahen Transfers erreicht haben, kann die Hypothese aufgestellt werden, dass für eine gute Lernleistung eine häufigere Nutzung der Erklärungen (quantitativer Aspekt) oder aber eine effektivere Nutzung der Erklärungen (qualitativer Aspekt) notwendig gewesen wäre. Inwieweit instruktionale Maßnahmen, die eine häufigere Nutzung der Erklärungen induzieren (quantitativer Aspekt), zu besseren Lernergebnissen führen, wird aktuell bereits in einer laufenden Studie untersucht. Die vorliegende Arbeit soll speziell Aufschluss darüber geben, wie qualitative Aspekte der Verarbeitung von instruktionalen Erklärungen gefördert werden können.

4. Fragestellungen

Diese Arbeit geht der Frage nach, ob sich Gruppen identifiziert lassen, die auf die instruktionalen Erklärungen in substantiellem Ausmaß zurückgreifen (quantitativer Aspekt), sich aber in dem Nutzen, den sie daraus ziehen, unterscheiden (qualitativer Aspekt). Aus entsprechenden Analysen könnten (in-)effektive Muster der Erklärungsnutzung identifiziert werden, deren

Kenntnis wiederum die Grundlage dafür bildet, instruktionale Maßnahmen zu ergreifen, die den Nutzungsdefiziten entgegenwirken. Spezifisch wird folgenden Fragen nachgegangen:

(1) Lassen sich Gruppen mit unterschiedlichen Profilen in der Häufigkeit der Nutzung von instruktionalen Erklärungen, in den Vorkenntnissen und im Lernerfolg unterscheiden?

(2) Falls sich dabei, wie erwartet, Gruppen unterschiedlich effektiver Nutzer unterscheiden lassen, werden folgende Vergleiche angestellt:

(a) Unterscheiden sich die Gruppen in ihrer Einschätzung, wie nützlich die instruktionalen Erklärungen sind (was wiederum die Tiefe der Verarbeitung der Erklärungen beeinflussen könnte)?

(b) Unterscheiden sich diese Gruppen darin, wie extensiv sie die instruktionalen Erklärungen verarbeiten (Unterschiede in der Lesezeit pro Erklärung)?

(c) Unterscheiden sich die Gruppen in der Elaboration der instruktionalen Erklärungen (Qualität der Verarbeitung)?

Diese Fragen werden mittels explorativer, teils qualitativer Analysen beantwortet. Diese Art „weicher“ Analysen hat sich in dem Forschungsprogramm zum Lernen aus Lösungsbeispielen, in das sich die vorliegende Arbeit einordnet und das der Autor zusammen mit Kollegen durchführt, wiederholt bewährt. Die zugrunde liegende Forschungsstrategie ist im Wesentlichen als eine „Spirale“ aus „weichen“, teils qualitativen Befunden zu Lernprozessen, daraus sich ergebenden experimentellen Vergleichen, dabei sich ergebenden „weicheren“ Befunden zu Lernprozessen usw. zu charakterisieren (vgl. auch Renkl, 1999). Ziel der vorliegenden Analysen ist es, die Grundlage für eine weiterführende experimentelle Studie zu liefern.

5. Methode

Diese Arbeit re-analysiert die Daten des oben beschriebenen Experiments von Renkl (2000).

5.1 Stichprobe und Design

An diesem Experiment nahmen 48 Lehramtsstudierende teil. Sie lernten aus unvollständigen Lösungsbeispielen (Domäne: Wahrscheinlichkeitsrechnung) unter zwei Bedingungen: (1) Bereitstellung von instruktionalen Erklärungen, die von den Lernenden abgerufen werden konnten ($n = 28$) und (2) keine instruktionalen Erklärungen ($n = 20$).

5.2 Versuchsablauf

Die Teilnehmenden arbeiteten in Individualsitzung (ca. zwei Stunden). Zuerst wurde ein Vortest zur Wahrscheinlichkeitsrechnung vorgegeben. Ein fol-

gender instruktionaler Text (inkl. einer eventuellen remedialen Phase) stellte sicher, dass die Lernenden die wahrscheinlichkeitstheoretischen Prinzipien kannten, auf denen die folgenden Lösungsbeispiele beruhten. Diese Lösungsbeispiele wurden mittels eines Computerprogramms dargeboten (Abb. 1 bis 3) und von jeder Person 45 min. lang studiert (je nach Bedingungen mit oder ohne bereit gestellte instruktionale Erklärungen). Die Lernzeit wurde damit konstant gehalten. Während des Beispielstudiums hatten die Lernenden laut zu denken (Instruktionen nach Ericsson & Simon, 1993). Schließlich wurde ein Nachtest zur Erfassung des Lernerfolgs vorgegeben.

5.3 Instrumente und Materialien

Vor- und Nachtest. Der Vortest bestand aus neun Items (Cronbach Alpha: .75), der Nachtest aus 13 Items (1 „Aufwärmitem“; 4 Items zum nahen Transfer, d.h. identische Tiefenstruktur, andere Oberflächenmerkmale; 8 Items zum weiten Transfer, d.h. veränderte Tiefenstruktur). In dieser Arbeit wird nur der weite Transfer betrachtet, da nur er vom Bereitstellen der instruktionalen Erklärungen beeinflusst wurde (siehe oben). Für diese Skala ergab sich ein Cronbach Alpha von .77.

Lehrtext. Es wurde ein Lehrtext zu Grundbegriffen der Wahrscheinlichkeitsrechnung, der sich bereits in mehreren Studien (z.B. Renkl, 1997a, b) bewährt hat, eingesetzt. Er enthielt neben einer Definition des Wahrscheinlichkeitsbegriffes (inkl. Informationen zur Bestimmung der Wahrscheinlichkeit von Ereignisklassen), das Komplementaritätsprinzip sowie die sogenannten Additions- und Multiplikationssätze. Die wahrscheinlichkeitstheoretischen Prinzipien, auf denen die Lösungsbeispiele beruhten, wurden damit vermittelt.

Lernprogramm. Mittels eines Computerprogramms wurden Lösungsbeispiele mit Lücken dargeboten (Domäne: Wahrscheinlichkeitsrechnung). Dabei wurden die Beispielaufgaben wie folgt präsentiert: Zunächst wurde die Aufgabenstellung dargeboten. Nach dem Lesen der Aufgabenstellung konnten die Lernenden durch Mausklick den ersten Lösungsschritt auf den Bildschirm holen. Durch erneuten Mausklick konnten die Lernenden den nächsten Lösungsschritt abrufen. Die Aufgabenstellung und die vorhergehenden Lösungszeilen blieben sichtbar, wenn eine neue Lösungszeile aufgerufen wurde. Dieser Vorgang wiederholte sich, bis die Lösungsbeispiele vollständig auf dem Bildschirm zu sehen waren. Wenn der Versuchsteilnehmer mit dem Studium einer Beispielaufgabe fertig war, konnte eine neue Aufgabe aufgerufen werden, die wiederum in der beschriebenen Art bearbeitet wurde.

Es gab genau vier strukturelle Aufgabentypen, denen jeweils eine bestimmte wahrscheinlichkeitstheoretische Struktur zugrunde lag. Die gewählte Zeit für das Selbststudium der Beispielaufgaben stellte sicher, dass jede Person mindestens eine Aufgabe einer jeden Struktur bearbeitete. Aufgrund unterschiedlicher Bearbeitungsgeschwindigkeiten der Lernenden wurden jedoch unterschiedlich viele Aufgaben aufgerufen. Bearbeitete eine Person mehr als die ersten vier Aufgaben mit den jeweiligen Strukturen, so stieß sie je-

weils nur wieder auf Aufgaben, denen eine der vier ausgewählten Strukturen zugrunde lag (zu einer weiteren Diskussion dieses Punktes siehe Renkl, 1997a).

Hinsichtlich der in die Beispiele integrierten Lücken ist zu bemerken, dass nach einem ersten Block mit vollständigen Beispielen die Zahlen zum Teil durch Fragezeichen ersetzt wurden, und die Lernenden die fehlenden Zahlen benennen sollen. Nach dem Benennen der erwarteten Zahl oder zumindest nach einem entsprechenden Versuch wurde der Lösungsschritt in vollständiger Form präsentiert. Damit bekamen die Lernenden Rückmeldung darüber, inwiefern sie korrekt antizipiert hatten.

In der Experimentalgruppe, nicht jedoch in der Kontrollgruppe war neben jedem Lösungsschritt eine Schaltfläche mit der Aufschrift „Prinzip“ zu finden. Durch Anklicken dieser Schaltfläche konnte eine minimalistische Erklärungen abgerufen werden. Mit der Schaltfläche „Mehr Hilfe“ war die ausführlichere Erklärung aufzurufen (Abb. 1 bis 3). Die Bearbeitungszeiten für die einzelnen Bildschirme wurden *online* festgehalten. Damit wurde Aufschluss über etliche Merkmale des Vorgehens der einzelnen Lernenden gewonnen, so z.B. über die Häufigkeit und die Länge der Nutzung der instruktionalen Erklärungen.

Fragebogen zur Nützlichkeit der Erklärungen. Die folgenden vier Fragen, die jeweils auf einer Likert-Skala von 1 („trifft nicht zu“) bis 5 („trifft zu“) zu beantworten waren, erfassten, inwieweit die Lernenden die instruktionalen Erklärungen als nützlich einschätzten: (1) „Die Erklärungen waren ausreichend detailliert“. (2) „Die Erklärungen waren zu abstrakt“. (3) „Die Erklärungen verwirren mich“. (4) „Die Erklärungen waren hilfreich“. Nach Umpolung der „negativ“ formulierten Items wurden die Fragen zu einer Gesamtskala „Nützlichkeit der Erklärungen“ zusammengefasst (Cronbach Alpha: .74).

Qualitative Analyse der Nutzung der instruktionalen Erklärungen. Es wurde eine informelle, explorative Durchsicht durch den Autor eingesetzt. Ziel dieser qualitativen Analysen war es, Hinweise darüber zu erhalten, ob sich Gruppen unterschiedlich effektiver Nutzer in der Verarbeitung der instruktionalen Erklärungen unterschieden, insbesondere in Bezug auf folgende Aspekte: Herstellen von Bezügen zwischen Erklärung und Lösungsbeispiel, Herstellen von Bezügen zwischen Erklärung und eigenen Verstehensschwierigkeiten und Ziehen von allgemeineren Schlussfolgerungen aus den Erklärungen. Zudem war eine Kodierung der Äußerungen während des Lesens der instruktionalen Erklärungen mit Hilfe von Kategorien, die sich bei Analysen von Selbsterklärungen bewährt haben (vgl. Renkl, 1997a, 1997b), geplant (siehe aber „Ergebnisse und Interpretation“).

6. Ergebnisse und Interpretation

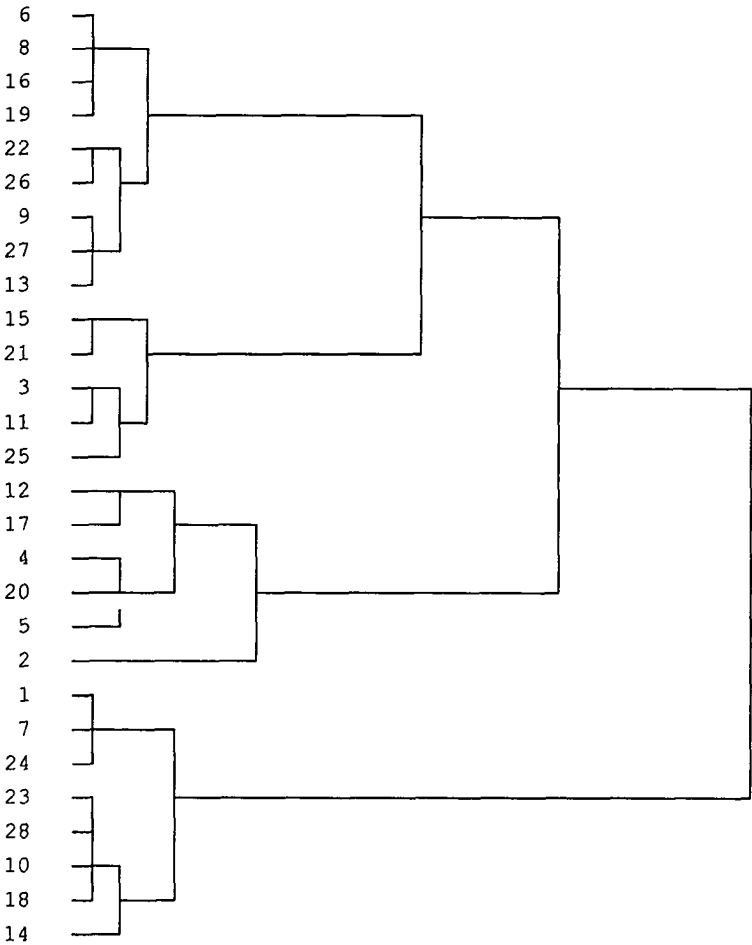
Da die Schritte der Datenauswertung zum Teil von den vorauslaufenden Ergebnissen und deren Interpretationen abhängig sind, ist die sonst übliche

Trennung von Ergebnisdarstellung und Interpretation (Diskussion) hier nicht sinnvoll. Die Ergebnisse werden in ihren wichtigsten Implikationen jeweils sogleich interpretiert.

6.1 Bestimmung und Charakterisierung von Untergruppen

Es wurde eine explorative Cluster-Analyse (Ward-Verfahren mit quadrierten euklidischen Distanzen) durchgeführt. Da die dafür verwendbare Stichprobe nur 28 Personen umfasste (Experimentalgruppe), wurde ein möglichst sparsamer Variablensatz verwendet: (1) Vortestwert, (2) weiter Transfer im

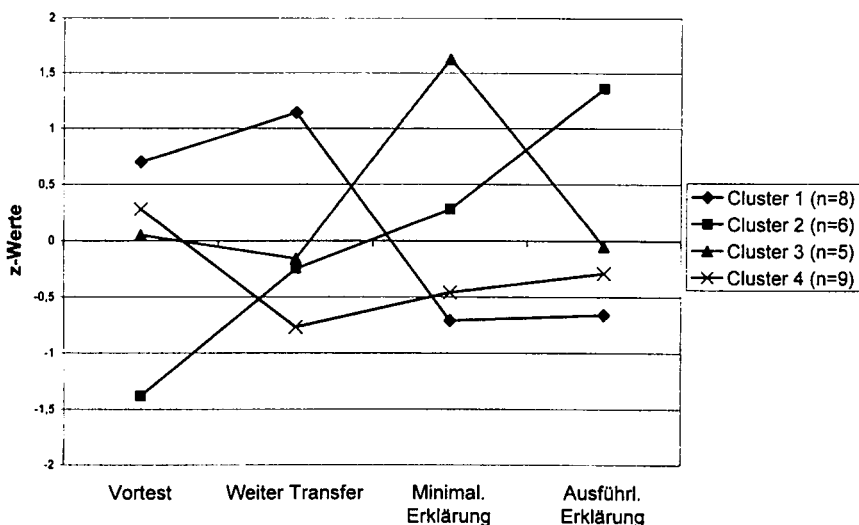
Abbildung 4:
Dendrogramm der Cluster-Analyse.



Nachtest (dieses Leistungsmaß erwies sich von der Bereitstellung der Erklärungen abhängig), (3) Anzahl der Episoden, in denen lediglich die erste minimalistische Erklärung aufgerufen wurde (ohne Weitergehen zur ausführlicheren Erklärung) und schließlich (4) Anzahl der Episoden, in denen zusätzlich die ausführlichere Erklärung abgerufen wurde. Damit die Variablen nicht aufgrund ihrer unterschiedlichen Metriken unterschiedlich stark auf das Ergebnis der Cluster-Analyse Einfluss nahmen, wurden die Variablen z-standardisiert.

Das Dendrogramm der Cluster-Analyse (Abb. 4) zeigt, dass sinnvollerweise vier Gruppen zu differenzieren waren (ab drei oder weniger Gruppen stieg die Fehlerquadratsumme sprunghaft an). Abb. 5 zeigt die Profile dieser vier Gruppen (Cluster). Da eine erste Inspektion der Gruppenprofile nahe legte, dass die Leistungen des weiten Transfers in den Gruppen nicht unbedingt den Erwartungen, die sich aus den Vortestleistungen ergaben, entsprachen, wurde überprüft, ob sich die Cluster signifikant in der residualisierten Leistung unterschieden (Regression vom „weiten Transfer“ auf den Vortest aufgrund der Daten der Gesamtstichprobe; $N = 48$). Dies war tatsächlich der Fall ($F(3,24)=13.61$; $p < .05$). Die Cluster unterschieden sich stark darin, inwieweit die Lernenden mehr oder weniger Transferleistung zeigten, als aufgrund des Vortests zu erwarten gewesen wäre ($\eta^2 = .63$).

Abbildung 5:
Profile der vier Cluster.



Cluster 1 konnte beim Lernen auf überdurchschnittliche Vorkenntnisse (Vortest) zurückgreifen. Die Lernergebnisse (weiter Transfer) „regredierten“ aber nicht zur Mitte (wie statistisch zu erwarten), vielmehr „baute“ diese Gruppe ihren Vorsprung „aus“ (z-standardisiertes mittleres Residuum:

1.13). Die instruktionalen Erklärungen wurden selten genutzt. Offensichtlich waren diese Lernenden nicht auf instruktionale Hilfe angewiesen. Die Personen dieses Clusters werden „Erfolgreiche Wenig-Nutzer“ genannt.

Cluster 4 beinhaltet ebenfalls Personen, die die instruktionalen Erklärungen nur wenig nutzten. Diese Personen hatten leicht überdurchschnittliches Vorwissen, zeigten aber nur unterdurchschnittliche Transferleistungen. Ihr Lernerfolg war damit erheblich schlechter, als dies aufgrund der Vortestergebnisse zu erwarten war (z-standardisiertes mittleres Residuum: -0.88). Im Gegensatz zu den Personen des Clusters 1 war die Nicht-Nutzung der instruktionalen Erklärungen durch diese Gruppe wohl als dysfunktional einzustufen. Für diese Gruppe wären instruktionale Maßnahmen von Bedeutung, die zu einer vermehrten Nutzung der Erklärungen führen. Die Personen des Clusters 4 werden als „Erfolglose Wenig-Nutzer“ bezeichnet.

Die Vortestergebnisse des Clusters 2 wiesen sehr geringe Vorkenntnisse aus. Die knapp durchschnittliche Transferleistung war vor diesem Hintergrund als gut zu bewerten (z-standardisiertes mittleres Residuum: 0.58). Die überdurchschnittlichen Residuen zusammen mit der überdurchschnittlichen Häufigkeit der Nutzung insbesondere der ausführlicheren instruktionalen Erklärungen legten die Vermutung einer effektiven Nutzung dieses Unterstützungsangebots nahe. Diese Lernenden werden „Erfolgreiche Nutzer“ genannt.

In Cluster 3 waren die Leistungen im Vortest und im weiten Transfer durchschnittlich (z-standardisiertes mittleres Residuum: -0.05). Die ausführlicheren Erklärungen wurden ebenfalls durchschnittlich häufig aufgerufen. Auffällig war jedoch die sehr häufige Nutzung der minimalistischen Erklärungen. Diese Personen werden „Mittelmäßige Nutzer“ genannt.

Hinsichtlich der Fragestellung, ob sich zwei (oder mehr) Gruppen von Lernenden identifizieren lassen, die auf die Erklärungen in substantiellem Ausmaß zurückgriffen, sich aber im Nutzen, den sie daraus zogen, unterschieden, waren insbesondere die beiden letztgenannten Gruppen der „Erfolgreichen Nutzer“ und der „Mittelmäßigen Nutzer“ interessant.

„Übersetzte“ man die z-Werte für die Nutzungshäufigkeiten wieder in Rohwerte zurück, so ergab sich, wie aus Tabelle 2 zu ersehen (siehe „N der Erklärungen“), deskriptiv eine häufigere Erklärungsnutzung durch die „Mittelmäßigen Nutzer“. Dies war statistisch aber nicht abzusichern. Dabei war zudem zu beachten, dass sich die beiden Gruppen zumindest deskriptiv in der Zahl der aufgerufenen Seiten und damit in der Anzahl der Gelegenheiten, bei denen eine Erklärung aufzurufen war, unterschieden (Tab. 2). Relativierte man die Anzahl der abgerufenen Erklärungen an der Anzahl der Gelegenheiten, so zeigte sich, dass beide Gruppe in ca. 30% der Fälle, in denen dies möglich war, Erklärungen abriefen (Tab. 2).

Tabelle 2:
Vergleich „Mittelmäßiger Nutzer“ mit „Erfolgreichen Nutzern“ hinsichtlich
Merkmalen der Nutzung der instruktionalen Erklärungen:
Mittelwerte und in Klammern Standardabweichungen.

	Mittelmäßige Nutzer	Erfolgreiche Nutzer	<u>d</u>	t-Test
N der Erklärungen	14.20 (4.09)	12.33 (3.88)	-0.47	-0.78 n.s.
Studierte Seiten	78.20 (25.77)	65.33 (9.48)	-0.66	-1.062 n.s.
Erklärungen pro Gelegenheit in %	30.95 (17.91)	28.79 (10.58)	-0.15	-0.25 n.s.
Minimalistische Erklärungen	11.40 (3.21)	5.33 (3.67)	-1.75	nicht sinnvoll ¹
Ausführlichere Erklärungen	2.80 (2.59)	7.00 (3.29)	1.42	nicht sinnvoll ¹
Nützlichkeitsbewertung	4.40 (0.29)	4.33 (0.44)	-0.19	-0.30 n.s.
Lesezeit pro Erklärungsepisode	12.61 (6.17)	20.69 (3.06)	1.66	2.84 *
Lesezeit pro minimalistische Erklärungen	8.59 (3.44)	7.41 (2.21)	-0.41	-0.41 n.s.
Lesezeit pro ausführlichere Erklärungen	17.81 (9.11)	25.68 (9.43)	0.85	1.31 n.s. ³

Anmerkungen: * $p < .05$; ¹ da diese Variablen in die Cluster-Analyse zur Bildung möglichst disparater Gruppen eingingen, konnte hier sinnvollerweise keine Nullhypothese postuliert werden; ² t-Test für inhomogene Varianzen, $df = 4.80$; ³ in der Gruppe „Mittelmäßige Nutzer“ $n = 4$ statt 5, da 1 Person keine ausführlichere Erklärung nutzte.

Unterschiede zwischen den „Mittelmäßigen Nutzern“ und den „Erfolgreichen Nutzern“ zeigten sich aber in Bezug darauf, inwieweit sie lediglich die minimalistischen Erklärungen abriefen oder aber die ausführlicheren Erklärungen anforderten. Die „Mittelmäßigen Nutzer“ riefen meist nur die minimalistische Erklärung ab ($\bar{M} = 11.4$) und gingen nur selten zusätzlich zur ausführlicheren Erklärungen weiter ($\bar{M} = 2.8$; Tab. 2). Bei den erfolgreichen Nutzern zeigte sich ein ausgewogeneres Verhältnis zwischen den beiden Arten der Erklärungsnutzung (minimalistische Erklärungen: $\bar{M} = 5.3$; minimalistische + ausführlichere Erklärung: $\bar{M} = 7.00$), wobei sogar Episoden, die die ausführlichere Erklärung einschlossen, leicht überwogen (Tab. 2).

Im Folgenden werden die beiden Gruppen der „Mittelmäßigen Nutzer“ und der „Erfolgreichen Nutzer“ hinsichtlich der im Abschnitt „Fragestellungen“ aufgeworfenen Aspekte verglichen.

6.2 Vergleich zwischen „Erfolgreichen Nutzern“ und „Mittelmäßigen Nutzern“

Subjektive Einschätzung der Nützlichkeit der Erklärungen. Zunächst wurde geprüft, ob sich die subjektiven Einschätzungen des Nutzens der Erklärungen, die wiederum die Art der Nutzung beeinflussen könnten, zwischen beiden Gruppen unterschieden. Dies war nicht der Fall (Tab. 2). Bei aller Vorsicht, mit der man die absolute Höhe von Skalenwerten interpretieren muss, so wiesen die Mittelwerte der beiden Gruppen in der Skala „Nützlichkeit der Erklärungen“ doch darauf hin, dass die Erklärungen insgesamt gesehen positiv bewertet wurden (4.33 bzw. 4.40; möglicher Variationsbereich 1.00 bis 5.00). Unterschiede in der subjektiven Bewertung ließen sich damit nicht als Erklärung für die unterschiedliche Nutzungseffektivität heranziehen.

Lesezeit pro Erklärung. Beide Gruppen unterschieden sich sehr deutlich (und damit auch statistisch signifikant) in der durchschnittlichen Lesezeit pro Erklärung (Tab. 2). Während die „Mittelmäßigen Nutzer“ nur knapp 13 sec. pro Erklärungsepisode aufwendeten, ergaben sich bei den „Erfolgreichen Nutzern“ knapp 21 sec. Dabei zeigte sich in der Lesezeit für minimalistische Erklärungen kein Unterschied. Ausführlichere Erklärungen wurden von den „Erfolgreichen Nutzern“ länger studiert, allerdings ließ sich der starke Effekt ($d = .85$) aufgrund der geringen Probandenzahl nicht statistisch absichern. Insofern war die längere Lesezeit pro Erklärungsepisode in erster Linie damit zu erklären, dass die „Erfolgreichen Nutzer“ öfter zu den ausführlicheren Erklärungen weitergingen. Inwieweit auch die ausführlicheren Erklärungen extensiver genutzt wurden, muss offen bleiben (substantieller deskriptiver Unterschied, fehlende Signifikanz).

Qualitative Aspekte der Nutzung. Eine erste informelle Durchsicht der Protokollabschnitte, die Episoden der Nutzung von Erklärungen zuzuordnen war, zeigte, dass die Verbalisierungen hier sehr dürftig ausfielen (im Gegensatz zu den übrigen, im diesem Zusammenhang aber nicht relevanten Protokollabschnitten). Substantielle inhaltliche Elaborationen kamen so gut wie nicht vor. Eine systematische Kodierung der Äußerungen war damit hinfällig geworden.

Typisch waren die folgenden vier Arten von Protokollabschnitten: (1) Absolutes Schweigen (2) Schweigen bzw. Kurzüßerung und eine Monitoringaussage (z.B. „Multiplikationssatz, okay“); (3) Verbalisierung des eigenen Vorgehens und Schweigens (z.B. „Mal gucken...<Schweigen>“); (4) Vorlesen von Bruchstücken aus der Erklärung („<Schweigen>...Gesamtwahrscheinlichkeit... <Schweigen>“)

Während sich Protokolle lauten Denkens beim Studium von Lösungsbeispielen vielfach als ergiebige Datenquelle erwiesen haben (z.B. Chi et al., 1989; Renkl, 1997a, 1997b; Stark, 1999), waren sie also wider Erwarten nicht geeignet, Aufschlüsse über die Elaboration der Erklärungen zu geben. Wie kann die Dürftigkeit der Verbalprotokolle beim Lesen bzw. Verarbeiten der instruktionalen Erklärungen erklärt werden?

Beim Verarbeiten der Erklärungen dürfte die Anforderung an die Informationsverarbeitung, d.h. an den Arbeitsspeicher der Lernenden sehr hoch ge-

wesen sein. Dabei kann das Arbeitsgedächtnis durch folgende Aspekte belastet werden: (1) Repräsentation der aktuellen Problemstellung der Beispielaufgabe, (2) Repräsentation des aktuellen Unterziels und Lösungsschrittes, (3) Repräsentation einer darauf bezogenen eigenen Verstehensschwierigkeit oder zumindest Verstehensunsicherheit, die den Erklärungsabruf motivierte, (4) Repräsentation der instruktionalen Erklärung und (5) Informationsverarbeitungsanforderung: Beziehen der Erklärung auf Lösungsschritt, Beispielaufgabe und eigenes Verstehensproblem. Die Belastung des Arbeitsspeichers könnte dazu geführt haben, dass für das laute Denken keine Kapazität mehr blieb. Diese Interpretation ist mit Ericsson und Simon (1993) vereinbar, die feststellen, dass „... (I)n situations where intense cognitive activity can be inferred, protocols become sparse“ (S. 252). Spezifisch nehmen die Autoren an, dass für das laute Denken ein entsprechender Marker im Kurzzeitgedächtnis gehalten werden muss. Dieser wird bei starker aufgabenbezogener Belastung des Arbeitsspeichers „verdrängt“, die Probanden verstummen. Diese Interpretation im Sinne von Ericsson und Simon wird durch die Aussagen einer Probandin aus der Gruppe der „Mittelmäßigen Nutzer“ gestützt. Nach einem Hinweis „weiterzusprechen“, äußerte sie: „... so, wenn ich jetzt nichts sag', dann heißt es nicht, dass ich nichts denk', nur dass ich ganz tief nachdenk'...“.

7. Diskussion

Es konnten zwei Gruppen von Lernenden identifiziert werden, die substantiellen Gebrauch von den instruktionalen Erklärungen machten, aber unterschiedlichen Nutzen daraus zogen. Die „Erfolgreichen Nutzer“ riefen im Vergleich zu den „Mittelmäßigen Nutzern“ häufiger die ausführlichere Erklärung auf und verwendeten damit auch mehr Zeit für die einzelnen Episoden der Erklärungsnutzung. Qualitative Unterschiede in der Nutzung der instruktionalen Erklärungen konnten aufgrund der Dürftigkeit der Verbalprotokolle nicht nachgewiesen werden. Die spärlichen Verbalisierungen während des Verarbeitens der instruktionalen Erklärungen resultierten vermutlich aus einer starken Belastung des Arbeitsgedächtnisses.

Eine Schlussfolgerung methodischer Art, die aus der Kargheit der Verbalprotokolle bei der Verarbeitung der instruktionalen Erklärungen gezogen werden kann, bezieht sich auf den Anwendungsbereich des lauten Denkens. Bislang hat sich diese Methode bei der Analyse von Selbsterklärungen bestens bewährt. Offenbar gibt es aber Einschränkungen. Als vorläufige Hypothese wird postuliert, dass das laute Denken, dann keinen Aufschluss über das Lernen erlaubt, wenn die Lernaktivität durch instruktionale Maßnahmen unterstützt wird, die die Arbeitsspeicherkapazität stark belasten, wie dies bei den vorliegenden instruktionalen Erklärungen wohl der Fall war.

Eine theoretische Schlussfolgerung, die zwar spekulativ, aber nicht von der Hand zu weisen ist, bezieht sich auf einen in der Einleitung dieser Arbeit nicht genannten Grund, warum instruktionale Erklärungen beim Lernen aus

Lösungsbeispielen sehr oft nicht effektiv sind. Möglicherweise wird durch die oben genannten Komponenten (Informationsverarbeitungsanforderung plus Repräsentation der Problemstellung, des aktuellen Unterziels und Lösungsschritts, einer eigenen Verstehensschwierigkeit und der instruktionalen Erklärungen) der Arbeitsspeicher in etlichen Fällen überlastet, so dass die instruktionalen Erklärungen nicht mehr in produktiver Weise verarbeitet werden können.

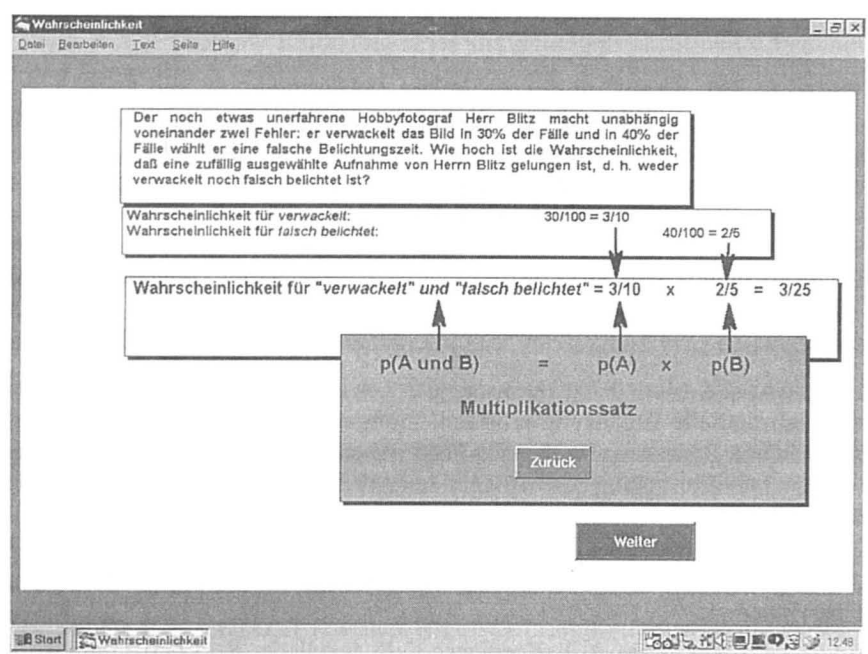
Hinsichtlich instruktionaler Konsequenzen ist vor allem zu beachten, dass die „Erfolgreichen Nutzer“ im Vergleich zu den „Mittelmäßigen Nutzern“ häufiger die ausführlicheren Erklärungen aufriefen, die sich von den minimalistischen Erklärungen in erster Linie dadurch unterschieden, dass sie explizit aufzeigten, wie die Elemente eines Prinzips (z.B. Multiplikationssatz) mit den Elementen aus dem Lösungsbeispiel korrespondierten (Abb. 2 und 3). Der moderate Lernerfolg der „Mittelmäßigen Nutzer“, die sich weitestgehend auf die minimalistischen Erklärungen beschränkten, legt die Vermutung nahe, dass es ihnen nicht immer gelang, sich den Bezug zwischen Prinzip und Lösungsbeispiel zu erschließen. Dies kann zum Teil auch an einer Überlastung des Arbeitsspeichers gelegen haben; die Dürftigkeit der Verbalprotokolle spricht, wie bereits dargelegt, für eine sehr starke kognitive Auslastung. Zusammengenommen kann festgehalten werden, dass instruktionale

Abbildung 6:
Minimalistische Erklärung im integrierten Format.

The screenshot shows a software window titled "Wahrscheinlichkeit" with a menu bar (Datei, Bearbeiten, Edit, Seite, Hilfe). The main content area contains a text box with a probability problem: "Der noch etwas unerfahrene Hobbyfotograf Herr Blitz macht unabhängig voneinander zwei Fehler: er verwackelt das Bild in 30% der Fälle und in 40% der Fälle wählt er eine falsche Belichtungszeit. Wie hoch ist die Wahrscheinlichkeit, daß eine zufällig ausgewählte Aufnahme von Herrn Blitz gelungen ist, d. h. weder verwackelt noch falsch belichtet ist?". Below the text box are three rows of text: "Wahrscheinlichkeit für verwackelt: 30/100 = 3/10", "Wahrscheinlichkeit für falsch belichtet: 40/100 = 2/5", and "Wahrscheinlichkeit für 'verwackelt' und 'falsch belichtet' = ?". Below these rows is a box containing the multiplication rule: $p(A \text{ und } B) = p(A) \times p(B)$, labeled "Multiplikationssatz". At the bottom of this box are two buttons: "Fertig" and "Mehr Hilfe". Below the main content area is a button labeled "Weiter". The taskbar at the bottom shows the "Start" button, the "Wahrscheinlichkeit" window icon, and a system tray with various icons and the time "12:48".

Maßnahmen getroffen werden sollten, die die folgenden beiden Punkte erreichen: (1) Reduzierung der kognitiven Belastung beim Verarbeiten der instruktionalen Erklärungen und (2) Erleichtern des Herstellens von Korrespondenz zwischen Elementen des Prinzips und des Lösungsbeispiels bei den minimalistischen Erklärungen.

Abbildung 7:
Ausführlichere Erklärung im integrierten Format.



Eine Möglichkeit, dies zu realisieren, bestünde darin, die minimalistische Erklärung in etwa so in die Beispiellösung zu integrieren, wie dies in Abbildung 6 exemplarisch gezeigt wird (die genaue Ausgestaltung müsste über Vorversuche optimiert werden). Diese Art der Erklärungsdarbietung hätte die beiden folgenden Vorteile:

(1) Durch die Integration der Erklärung in die Beispiellösung müssen bei der Verarbeitung der Erklärung bzw. beim Beziehen derselben auf die konkrete Beispiellösung nicht mehr alle relevanten Merkmale des Lösungsbeispiels vollständig im Arbeitsgedächtnis gehalten werden, wie dies bei der ursprünglichen Erklärungsdarbietung der Fall war (Abb. 1 bis 3: Erklärung und Beispiel auf verschiedenen Seiten). Bei einem integrierten Format können diese Merkmale einfach wieder nachgesehen und damit sehr leicht ins Arbeitsgedächtnis zurückgeholt werden (vgl. dazu Fu & Gray, 2000).

(2) Die zusätzlichen Pfeile vereinfachen den Bezug der Elemente des Prinzips auf die Elemente des Lösungsbeispiels (Abb. 6). Damit wird „unnötige“, d.h. für das Lernen nicht förderliche Arbeitsgedächtnisbelastung (*extraneous load* nach Sweller et al., 1998), die durch ein „mühevoll“ Herstellen der Bezüge bewirkt werden kann, reduziert. Für diese Annahme sprechen auch die entsprechenden Befunde zum sog. integrierten Format von Lösungsbeispielen (Integration unterschiedlicher Informationsquellen), das sich in etlichen Studien als günstig erwiesen hat (zu einem Überblick: Sweller et al., 1998; Atkinson, Derry, Renkl & Wortham, in Druck). Zudem dürfte durch die integrierte Darstellung die Funktion der ausführlicheren Erklärungen (Aufzeigen des Bezugs zwischen Erklärung und Beispiel) durch die minimalistischen Erklärungen bereits recht gut erfüllt werden.

Trotzdem die „neuen“ minimalistischen Erklärungen, es nun leichter machen dürften, die Elemente des Prinzips und des jeweiligen Lösungsbeispiels aufeinander zu beziehen, sind sie immer noch sehr „schlank“, so dass nicht mit einem gegenüber der „alten“ Version selteneren Aufruf gerechnet werden muss. Die ausführlicheren Erklärungen sollten ebenfalls so revidiert werden, dass das Lösungsbeispiel sichtbar bleibt und damit ein integriertes Format realisiert wird (Abb. 7). In Bezug auf das eingangs dargestellt SEASITE-Modell bedeutet dies, dass bei den Gestaltungsmerkmalen für die instruktionalen Erklärungen ein Aspekt ergänzt wird: *Integriertes Format*.

Das SEASITE-Modell hat aufgrund der „weichen“ Analysen dieser Arbeit eine substantielle Ergänzung erfahren. Inwieweit ein integriertes Format tatsächlich von Bedeutung ist, muss in Folgeexperimenten detailliert untersucht werden. Die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit - durch explorative Analysen die Grundlage für weiterführende Experimente zu legen - wurde erreicht.

Literatur

- Anderson, J. R., Corbett, A. T., Koedinger, K. R. & Pelletier, R. (1995). Cognitive tutors: Lessons learned. *The Journal of the Learning Sciences*, 4, 167-207.
- Atkinson, R. K., Derry, S. J., Renkl, A. & Wortham, D. W. (in Druck). Learning from examples: Instructional principles from the worked examples research. *Review of Educational Research*.
- Brown, A. L. & Kane, M. J. (1988). Preschool children can learn to transfer: Learning to learn and learning from examples. *Cognitive Psychology*, 20, 493-523.
- Carroll, J. M. (1990). *The Nurnberg Funnel. Designing minimalist instruction for practical computer skill*. Cambridge: MIT Press.
- Chi, M. T. H. (1996). Constructing self-explanations and scaffolded explanations in tutoring. *Applied Cognitive Psychology*, 10, 33-49.
- Chi, M. T. H., Bassok, M., Lewis, M. W., Reimann, P. & Glaser, R. (1989). Self-explanations: How students study and use examples in learning to solve problems. *Cognitive Science*, 13, 145-182.
- Conati C. (1999). *An intelligent computer tutor to guide self-explanation while learning from examples* (Unpublished dissertation thesis). University of Pittsburgh.
- Conati C., & VanLehn, K. (1999). Teaching meta-cognitive skills: Implementation and evaluation of a tutoring system to guide self-explanation while learning from

- examples. In *Proceedings of AIED '99, 9th World Conference of Artificial Intelligence and Education*. Le Man, France.
- Fu, W.-T., & Gray, W. D. (2000). Memory versus perceptual-motor tradoffs in a blocks world task. In L. Gleitman & A. K. Joshi (Eds.), *Proceeding of the 22nd Annual Conference of the Cognitive Science Society* (S. 154-159). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Ericsson, K. A. & Simon, H. A. (1993). *Protocol analysis. Verbal reports as data* (Revised edition). Cambridge, MA: MIT Press.
- Hofer, M., Niegemann, H. M., Eckert, A. & Rinn, U. (1996). Pädagogische Hilfen für interaktive selbstgesteuerte Lernprozesse und Konstruktion eines neuen Verfahrens zur Wissensdiagnose. *Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik, Beiheft 13*, 53-67.
- LeFevre, J.-A. & Dixon, P. (1986). Do written instructions need examples? *Cognition and Instruction*, 3, 1-30.
- Mandl, H., Gruber, H. & Renkl, A. (1992). Prozesse der Wissensanwendung beim komplexen Problemlösen in einer kooperativen Situation. In F. Achtenhagen & E. G. John (Hrsg.), *Mehrdimensionale Lehr-Lern-Arrangements. Innovationen in der kaufmännischen Aus- und Weiterbildung* (S. 478-490). Wiesbaden: Gabler.
- Reimann, P. (1997). *Lernprozesse beim Wissenserwerb aus Beispielen: Analyse, Modellierung, Förderung*. Bern, CH: Huber.
- Renkl, A. (1997a). Learning from worked-out examples: A study on individual differences. *Cognitive Science*, 21, 1-29.
- Renkl, A. (1997b). *Lernen durch Lehren. Zentrale Wirkmechanismen beim kooperativen Lernen*. Wiesbaden: DUV.
- Renkl, A. (1999). Jenseits von p .05: Ein Plädoyer für Qualitatives. *Unterrichtswissenschaft*, 27, 310-322.
- Renkl, A. (2000). *Worked-out examples: Instructional explanations support learning by self-explanations* (Research Report No.139). Freiburg: Psychologisches Institut, Universität Freiburg.
- Renkl, A. & Helmke, A. (1992). Discriminant effects of performance-oriented and structure-oriented mathematics tasks on achievement growth. *Contemporary Educational Psychology*, 17, 47-55.
- Renkl, A., Stark, R., Gruber, H. & Mandl, H. (1998). Learning from worked-out examples: The effects of example variability and elicited self-explanations. *Contemporary Educational Psychology*, 23, 90-108.
- Renkl, A. & Stern, E. (1994). Die Bedeutung von kognitiven Eingangsbedingungen und schulischen Lerngelegenheiten für das Lösen von einfachen und komplexen Textaufgaben. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 8, 27-39.
- Stark, R. (1999). *Lernen mit Lösungsbeispielen*. Bern: Huber.
- Sweller, J., van Merriënboer, J. G. & Paas, F. G. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 10, 251-296.
- Webb, N. M. (1992). Testing a theoretical model of student interaction and learning in small groups. In R. Hertz-Lazarowitz & N. Miller (Hrsg.), *Interaction in cooperative groups. The theoretical anatomy of group learning* (S. 102-119). Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Anschrift des Autors:

Prof. Dr. Alexander Renkl
 Universität Freiburg, Psychologisches Institut
 Abt. Pädagogische Psychologie
 Belfortstr. 16, 79098 Freiburg